

土壤单一或复合添加铜、砷对水稻的影响*

苏应生 曹宇

(安徽省芜湖市环境监理所, 芜湖 241000)

谢明云 陈树元**

(江苏省植物研究所, 南京 210014)
中国科学院

吴昌业 杨盈其

(安徽冶炼厂, 芜湖 241009)

摘要 针对冶炼厂排放污水中同时含有铜、砷的实际情况, 通过向土壤单一或复合添加一定量的铜、砷, 以研究铜、砷对水稻生长和产量的影响以及使水稻减产时土壤铜、砷临界值。结果表明, 水稻能从土壤中吸收、累积相当数量的铜、砷; 拮抗作用是铜、砷对水稻交互影响的特征反应; 土壤铜、砷临界值分别为900和25 mg/kg。

关键词 土壤; 水稻; 铜; 砷; 污染

The effects of Cu and As added to soil in single or in combination on rice Su Ying-Sheng, Cao Yu (Institute of Environmental Supervision, Wuhu 241000), Xie Ming-Yun, Chen Shu-Yuan (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014), Wu Chang-Ye, Yang Ying-Qi (Anhui Smeltery, Wuhu 241009), *J. Plant Resour. & Environ.* 1994, 3(4): 23~28

In connection with the status of Cu and As in waste water drained by one smeltery the influence of Cu and As on growth and yield of rice and their harmful critical values in soil were researched by adding an amount of Cu and As to soil in single or in combination. Results showed that a relative amount of Cu and As in soil could be absorbed and accumulated in rice. The antagonistic action was the characteristic reaction of Cu and As reciprocal influence on rice. The critical values of Cu and As in soil were 900 and 20 mg/kg, respectively.

Key words soil; rice; Cu; As; pollution

有关重金属污染对植物生态系统的影响业已发表了不少研究报告 Ndiokwere⁽⁸⁾报道了木材加工厂含砷、铬、铜废水对土壤、植物的影响。我国的张宁珍⁽³⁾和刘更另⁽¹⁾先后发表了含铜废水和红壤中砷对作物影响的研究报告。Wong⁽⁹⁾研究了铅、镉、铜复合污染对青菜生长的影响。我们针对冶炼厂排放废水的实际情况, 通过向土壤单一或复合添加不同剂量铜、砷, 以研究它们对水稻生长和产量的影响, 以及使水稻产量受害时土壤铜、砷临界值。

1. 材料与 方法

1.1 盆栽试验

收稿日期 1994-04-25

* 系安徽省科委1992重点科研项目的子课题

** 本文执笔人

以植物园园田土为盆栽土,以硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)和(NaAsO_2)作为土壤铜、砷添加剂,对盆栽土进行不同剂量的单一或复合添加处理。各处理组土壤中铜、砷控制浓度的实验设计见表1。每一处理称土10 kg,置放在高30 cm 直径28 cm 的塑料桶中,重复5次。插秧前每桶加施尿素3.70 g,磷酸二氢钾8.0 g 和饼肥150 g,混合均匀加水浸泡15天后,于6月6日将汕优63[#]杂交稻秧苗按每桶一穴,每穴一株种在塑料桶中,用自来水灌溉后,将全部供试盆栽水稻苗放置在防雨棚架下,使水稻苗始终保持在不受雨淋的淹水条件下。水稻进入灌浆期后,在防雨棚上再架设尼龙防雀网,直至收获。

表1 不同处理组盆栽土壤中铜、砷控制浓度的实验设计

Tab 1 The test design on Cu and As control concentration in potted soil under different treatments

代号 Code name	控制浓度*		代号 Code name	控制浓度*	
	铜 Cu	砷 As		铜 Cu	砷 As
CK	0	0	CK	0	0
A1	0	7.5	B1	500	15
A2	0	15	B2	1000	30
A3	0	30	B3	2000	60
A4	0	45	B4	500	30
A5	0	60	B5	1000	60
C1	500	0	B6	2000	15
C2	1000	0	B7	500	60
C3	1500	0	B8	1000	15
C4	2000	0	B9	2000	30
C5	2500	0			
C6	4000	0			

* 土壤中铜、砷实际浓度为控制浓度加本底浓度。本底浓度铜、砷各为27.78和2.28 mg/kg

The actual concentration of Cu and As in soil should be equal to control concentration plus background concentration. The background concentrations for Cu and As are 27.78 and 2.28 mg/kg, respectively.

1.2 样品的采集和分析测定

在水稻抽穗期,每处理采集20枚旗叶,用 DDS-11 电导仪测定叶片电导率;用 Licor-1600 气孔计测定活体叶片气孔扩散阻抗和蒸腾强度。

在水稻蜡熟期,统计和测算水稻株高、有效分蘖数、千粒重和产量。

从各处理组采集水稻和土壤样品,参照姜永清方法^[6],经不同的浸提和消化处理后,用原子吸收分光光度计测定铜、砷含量。

本研究分析测试方法,经标样鉴定,数据测试可靠性在90%以上。

2. 结果与分析

2.1 土壤铜、砷浓度对水稻各器官铜、砷含量的影响

测定结果表明(表2),水稻各器官铜、砷浓度与土壤铜、砷浓度密切相关,而且水稻根中铜、砷浓度明显高于茎、叶等地上器官。这就表明,水稻能从土壤中吸收相当量的铜、砷,而进入水稻的铜、砷主要累积在根部。从表2还可看出,土壤进行铜、砷复合处理与同一浓度单一处理相比,复合处理降低了根、茎的铜、砷浓度,而且铜的存在降低水稻各器官对砷的吸收作用

尤为明显。值得注意的是,铜元素在复合或单一添加到土壤中时,会对根系和叶片富集铜的特性产生不同的影响。

表2 不同处理组土壤铜、砷控制浓度对水稻各器官铜、砷浓度的影响

Tab 2 The effects of Cu and As control concentration in soil under different treatments on it's concentration in different organs of rice

代号 Code name	控制浓度* Control concentration (mg/kg)		水稻各器官铜、砷浓度** Cu and As concentration in different organs of rice (mg/kg)										
			根 Root		茎 Stem		叶 Leaf		糠 Chaff		米 Rice		
	铜 Cu	砷 As	铜 Cu	砷 As	铜 Cu	砷 As	铜 Cu	砷 As	铜 Cu	砷 As	铜 Cu	砷 As	
CK	0	0	25.29	2.62	3.21	0.37	5.48e	1.16a		9.49	0.54	5.12c	0.31c
A1	0	7.5		6.12		2.46		3.68c			0.90		0.34c
A2	0	15		13.24		4.11		4.29c			1.08		0.35c
A3	0	30		28.84		5.74		5.96b			1.40		0.83b
A4	0	45		35.88		6.58		6.94b			1.74		1.22a
A5	0	60		48.86		8.93		12.60a			3.20		1.33a
B1	500	15	109.99	10.68	15.92	4.03	47.5bcd	1.95de	10.60	0.59	7.23bc	0.45de	
B4	500	30	86.51	23.31	15.67	6.11	47.17d	4.25c	12.65	0.92	7.09bc	0.58bc	
B7	500	60	93.28	38.64	15.17	6.55	48.37bcd	6.66a	10.85	1.17	7.63bc	0.79a	
B8	1000	15	173.41	11.07	17.05	3.81	50.94bc	2.50d	11.65	0.62	8.50b	0.37ef	
B2	1000	30	181.76	17.82	20.10	4.35	46.61cd	3.89c	12.51	0.75	8.17b	0.55bcd	
B5	1000	60	139.57	33.94	17.22	6.15	51.51b	5.41b	13.29	1.34	8.42b	0.65b	
B6	2000	15	400.04	9.76	20.52	3.97	52.11b	2.34d	17.65	0.43	11.46a	0.47de	
B9	2000	30	361.18	17.65	25.37	5.48	57.48a	3.60c	14.34	0.78	12.32a	0.49ede	
B3	2000	60	367.34	35.88	20.42	4.94	49.48bcd	5.76b	14.59	1.18	13.10a	0.65b	
C1	500	0	170.02		19.94		9.02c		7.35		6.05d		
C2	1000	0	209.79		22.52		9.63c		9.25		8.58c		
C3	1500	0	251.95		23.80		9.10c		10.80		9.40bc		
C4	2000	0	466.06		26.24		10.02bc		11.15		10.77ab		
C5	2500	0	564.92		29.20		11.66ab		13.96		10.01abc		
C6	4000	0	873.00		31.72		12.73a		14.14		11.43a		

* 各组土壤铜、砷的实际浓度为控制浓度加本底浓度,本底浓度铜和砷分别为27.78和2.28 mg/kg。

The actual concentration of Cu and As in soil should be equal to control concentration plus background concentration. The background concs. for Cu and As are 27.78 and 2.28 mg/kg, respectively.

* 数字后跟不同的英文字母,表示根据新复极差测定在0.05水平上差异显著。

The figure followed by different English letters is significantly different at the 5% level based on Duncan's test.

2.2 土壤铜、砷浓度对水稻生物量的影响以及土壤铜、砷临界值的确定

当土壤单一添加铜或砷时,从相关分析表明,水稻产量、株高、有效分蘖数均与土壤铜或砷浓度呈高度负相关(见表3)。当土壤复合添加铜和砷时,为了比较它们的影响,进行了偏相关分析,结果表明(表3),在复合处理时水稻的产量与土壤铜、砷浓度呈极显著负相关,而与砷的相关性比铜更大;株高与铜浓度呈显著负相关,与砷则为极显著负相关;有效分蘖数和干粒重与铜浓度的相关性不显著,而与砷的相关性极显著。

在比较铜、砷复合与单一处理对水稻生物量的影响时,同样发现铜、砷之间是以拮抗作用形式显露它们对水稻的影响,这点在低浓度时尤为明显。正是这种拮抗作用缓解了铜、砷单一处理对水稻生物量的有害影响。

显然,在以水稻减产8~10%作为控制指标确定土壤铜、砷临界值时,不仅应该根据上述回归分析的结果,而且还要考虑到铜、砷之间拮抗作用的存在。根据本研究结果,建议水稻受害

时土壤中铜、砷临界值分别为900 mg/kg 和25 mg/kg。

表3 不同处理组盆栽土壤中铜、砷控制浓度对水稻生物量的影响

Tab 3 The effects of Cu and As control concentration in potted soil under different treatments on biomass of rice

代号 Code name	控制浓度 ^a Control conc. (mg/kg)		产量 Yield (g/pot)		株高 Plant height (cm)		有效分蘖数 Effective tillering number		千粒重 Weight per thousand grain (g)	
	铜 Cu	砷 As	测定值	回归分析	测定值	回归分析	测定值	回归分析	测定值	回归分析
			Meas. vullue	Regressive analysis	Meas. vullue	Regressive analysis	Meas. vullue	Regressive analysis	Meas. vullue	Regressive analysis
CK	0	0	72.05a	$Y_A=80.6561$	92.22	$Y_A=91.3639$	49	$Y_A=49.8213$	23.54	$Y_A=23.6421$
A1	0	7.5	71.72a	-0.7681X	88.88	-0.5759X	46	-0.3307X	22.60	-0.0298X
A2	0	15	72.32a	$r_A=$	86.78	$r_A=$	46	$r_A=$	24.70	$r_A=$
A3	0	30	55.76a	-0.9223**	65.40	-0.9189**	41	-0.9874**	21.76	-0.5390
A4	0	45	51.35a		64.24		34		22.62	
A5	0	60	31.15a		60.82		30		21.83	
CK	27.78	2.28	72.05a	$Y_C=77.8918$	92.22	$Y_C=98.3817$	49	$Y_C=44.0540$	23.54	$Y_C=24.0389$
C1	500	0	72.51a	-0.0123X	91.70	-0.2135	42	-2.8108	23.92	-7.2812
C2	1000	0	63.42ab	$r_C=$	90.68	$\times 10^{-3}X$	40	$\times 10^{-3}X$	22.55	$\times 10^{-4}X$
C3	1500	0	59.49abc	-0.9944**	86.34	$r_C=$	42	$r_C=$	22.96	$r_C=$
C4	2000	0	55.84bc		83.76	-0.9544**	41	-0.8549**	22.96	-0.8930**
C5	2500	0	45.96c		69.16		34		22.63	
C6	4000	0	28.41d		62.72		33		20.83	
CK	27.78	2.28	72.05a	$r_{Y_{Cu} \cdot As}=$	92.22	$r_{Y_{Cu} \cdot As}=$	49	$r_{Y_{Cu} \cdot As}=$	23.54	$r_{Y_{Cu} \cdot As}=$
B1	500	15	77.18a	-0.8906**	91.72	-0.7138**	50	-0.5511	23.45	-0.3482
B8	1000	15	71.98a	$r_{Y_{As} \cdot Cu}=$	91.14	$r_{Y_{As} \cdot Cu}=$	45	$r_{Y_{As} \cdot Cu}=$	23.14	$r_{Y_{As} \cdot Cu}=$
B6	2000	15	70.45ab	-0.9890**	90.96	-0.9646**	45	-0.9864**	24.41	-0.8455**
B4	500	30	68.27b		88.62		43		23.36	
B2	1000	30	66.16b		89.74		43		24.06	
B9	2000	30	55.93c		85.84		39		24.43	
B7	500	60	47.67c		84.78		32		21.94	
B5	1000	60	46.49c		84.18		32		21.76	
B3	2000	60	42.46c		82.20		30		21.38	

^a 各处理组盆栽土壤中铜、砷的实际浓度为控制浓度加上本底浓度,本底浓度铜为27.78 mg/kg,砷为2.28 mg/kg。

The actual concentration of Cu and As in soil should be control concentration plus background concentration, the background concentrations for Cu and As are 27.78 and 2.28 mg/kg, respectively.

2.3 土壤铜、砷浓度对水稻叶片电导率、气孔阻抗和蒸腾强度的影响

在水稻叶片生理代谢功能较活跃的抽穗初期,分析了叶片外渗液电导率比值变化(图1)。从图1可见,叶片电导率比值随土壤铜、砷浓度增加而增加,两者呈明显的正相关。当土壤铜、砷浓度为最大时,电导率出现相应的峰值。同样,在电导率变化方面也出现铜、砷之间的拮抗效应,铜的存在降低了砷对电导率的影响。

对土壤同时添加不同剂量铜和砷的9个处理组的水稻叶片,进行了气孔阻抗和蒸腾强度的测定。根据偏回归分析可以得到以下二组偏回归系数: $r_{Y_{气阻} \cdot Cu \cdot As} = -0.7641^*$; $r_{Y_{气阻} \cdot As \cdot Cu} = -0.8473^{**}$; $r_{Y_{蒸强} \cdot Cu \cdot As} = 0.6493$; $r_{Y_{蒸强} \cdot As \cdot Cu} = 0.7949^*$ 这就表明土壤铜浓度与气孔扩散阻抗之间的相关性显著,与蒸腾强度的相关性不显著;而砷浓度与扩散阻抗之间的相关性极显著,与蒸腾强度的相关性显著,从而表明砷对上述生理指标的影响明显大于铜。

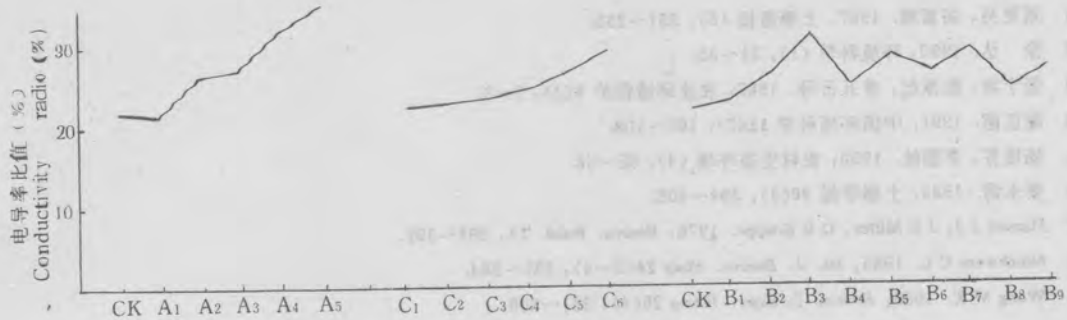


图1 各处理组水稻叶片外渗液电导率比值变化

Fig 1 The change of conductivity ratio of osmotic liquid of rice leaves in different groups

3. 讨 论

3.1 水稻能从土壤中吸收累积相当数量的铜和砷

表2的分析数据,清楚地表明了水稻吸收累积铜、砷的特性。水稻根系是主要富集铜、砷的器官,它吸收累积铜、砷的数量一般要高出地上器官的几倍至数十倍。但米粒中铜、砷含量则很低,且与土壤中它们的浓度不相关。

国内一些研究表明,水稻根系吸收累积的铜量可达581.4 ppm^[5],而富集砷的能力更高达3851 ppm^[1],相当于茎叶含砷量的16.7~84倍。这些无疑也佐证了本次研究结果。

3.2 拮抗作用是铜、砷对水稻影响的特征反应

自然界虽然也有单一金属污染危害事件,但更多发生的是复合污染事故。一些研究表明,不同金属构成的复合污染对生态环境的影响会因金属种类、浓度和作用对象的不同而以不同作用形式表现出来。Wong^[9]发现,由铅和镉构成的复合污染对青菜的生长表现为协同作用,而铅与铜复合时则不出现相互作用。Hassett等^[7]的研究表明,铅和镉在一起时对莴苣幼苗的生长表现为拮抗作用。本研究表明,土壤同时添加铜、砷时对水稻生长和产量的影响表现出拮抗反应。复合处理降低了水稻各器官的铜、砷浓度(见表2),减轻了对水稻生物量的有害影响(见表3)。另外,复合处理也减少了叶片电导率比值的变化(见图1)。

3.3 应从多因素综合作用的观点确定水稻受害时土壤铜和砷的临界浓度

近年来涂丛等^[2,4,5]关于土壤铜、砷毒性临界值的研究表明,不同的土壤类型、作物品种、金属种类和预期目的,都会影响土壤金属临界浓度的确定。本研究已表明,铜、砷之间存在拮抗作用,故对土壤采用单一或复合添加金属的方式也会影响土壤铜、砷毒性浓度的确定。根据本研究结果和从多因素综合作用的观点,建议土壤铜、砷的临界值分别确定为900和25 mg/kg。该临界值与国内已发表的结果相比,除铜值偏高一些外,砷值基本一致。正如一些研究表明^[2],由于供试土壤种类和作物品种不一样,产生不同的结果是正常的。

参 考 文 献

- 1 刘更另,高素端. 1987;土壤通报(5):231~233.
- 2 涂 丛. 1990;环境科学(1):31~35.
- 3 张宁珍,赵振纪,曾五云等. 1987;农业环境保护6(4):7~9.
- 4 谢正苗. 1991;中国环境科学11(2):105~108.
- 5 杨桂芬,李德波. 1990;农村生态环境(4):55~58.
- 6 姜永清. 1983;土壤学报20(4):394~403.
- 7 Hassett J J, J E Miller, D E Koepe. 1976; *Environ. Pollut.* 11: 297~302.
- 8 Ndiokwere C L. 1985; *Int. J. Environ. Study* 24(3~4): 231~234.
- 9 Wong M K. 1986; *Environ. & Exper. Botany* 26(4): 331~339.

(责任编辑:罗 董)

植物资源与环境学术讨论会在兰州举行

中国环境科学学会植物园保护分会学术年会于1994.8.30~9.7在兰州举行。45个单位90名代表出席了这次会议。大会共收到正式论文30篇,录象2部及幻灯、墙报图片等。会议分学术交流 and 考察二步进行。

甘肃省与兰州市领导对会议非常重视,兰州树木园为大会作了精心安排。贺善安理事长就本次年会的主题作了学术报告,他根据国内外近几年植物园事业发展动向,从6个方面论述“植物资源与环境”的问题,并简要地介绍了1995~1997年BGCI, IABG, IABG-AD的会议时间、地点和讨论的内容。顾姻研究员作了热带亚洲印尼茂物植物园与新加坡植物园的园景建设与科研情况报告,有12篇论文在大会作了交流。

大会学术交流之后,代表们重点考察了兰州市南北两山的绿化,由于严重的干旱和水土流失,历史上南北二山草木不生、荒山秃岭、造成“山黄”、“水黄”、“风黄”的三黄恶劣环境,解放后党和人民政府十分重视,特别是1983年提出种草,种树,发展畜牧,改造山河,治穷致富的号召后,治理上采用生物工程措施并进,水利电力、交通跟上的措施,8年共绿化保存达10万亩,3000多万株,荒山面貌发生了根本变化,“黄山”少了,前山70%的山地得到绿化,“黄风”小了,刮风降尘量减少50%,“黄水”清了,径流量减少40~70%。取得了显著的社会效益、生态效益和经济效益。代表们还考察了民勤沙生植物园、野生动物繁育中心等,得到很大启发。

(杨志斌)